

岩溶地区水库渗漏及坝址选择工程地质勘察分析要点

中国磊 宋永东
 水文规划设计有限公司

摘要：水库渗漏评价及坝址选择是岩溶地区水库工程地质勘察的两个重要部分，准确评价水库渗漏决定着水库是否适宜建设，选择合适的坝址不但利于工程安全，还可以节省工程投资。本文以滇东南某小水库为例，通过临谷渗漏分析、坝基及绕坝渗漏分析等，对水库进行了渗漏评价，充分论证了水库成库条件；并从地形地貌、地层岩性、地质构造、岩体风化及卸荷、水文地质、边坡稳定、坝基稳定等方面对上下两个坝址进行地质比选，确定地质较优坝址，为工程设计提供了可靠的地质依据，说明了岩溶地区水库渗漏及坝址选择工程地质勘察分析要点，对类似工程建设具有较强的指导意义。

关键词：岩溶地区；水库渗漏；坝址选择；地质勘察

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.02.052

一、引言

岩溶地区水库渗漏评价及坝址选择作为水库工程地质勘察重要的两个方面，准确评价水库渗漏决定着水库是否适宜建设，选择合适的坝址不但利于工程安全，还可以节省工程投资。如何较好的进行水库渗漏及坝址选择勘察评价，对于水库工程建设至关重要。

滇东南某小水库，大地构造单元属于扬子板块-华南造山带-滇东南造山带，位于云贵高原的南缘斜坡地带滇东南岩溶山区。侵蚀和溶蚀作用是区内地貌形成的主要营力，区域地层岩性主要由碎屑岩和碳酸盐岩组成，库内主要发育三叠系中统法郎组砂岩、泥灰岩夹灰岩和第四系堆积物。工程区位于南岭纬向构造体系西端，黔桂经向构造带西南缘、藏滇“歹”字型构造体系东部的文山巨型环状构造带之中，地质构造背景复杂，区域内最大的断裂带为文山-麻栗坡断裂带，属文山巨型环状构造带的西部边缘。通过综合运用工程地质测绘、钻探、坑槽探、钻孔水文试验、室内试验等多种手段，全面真实地反映了工程区工程地质、水文地质条件，对临谷渗漏分析、坝基及绕坝渗漏分析进行了水库渗漏评价，充分论证了水库成库条件；通过对上下两个坝址从地形地貌、地层岩性、地质构造、岩体风化及卸荷、水文地质、边坡稳定、坝基稳定等方面进行地质比选，确定地质较优坝址，为工程设计提供了可靠的地质依据，说明了岩溶地区水库渗漏及坝址选择工程地质勘察分析要点，对类似工程建设具有很强的指导意义。

二、水库渗漏评价

(一) 临谷渗漏

水库两岸山高坡陡，山体连续性好，与南东侧临谷水平距离约4.1km，与北西侧临谷水平距离约1.1km，与北东侧临谷水平距离2.3km，分水岭雄厚，地形无低矮垭口，库盆地形封闭条件较好。

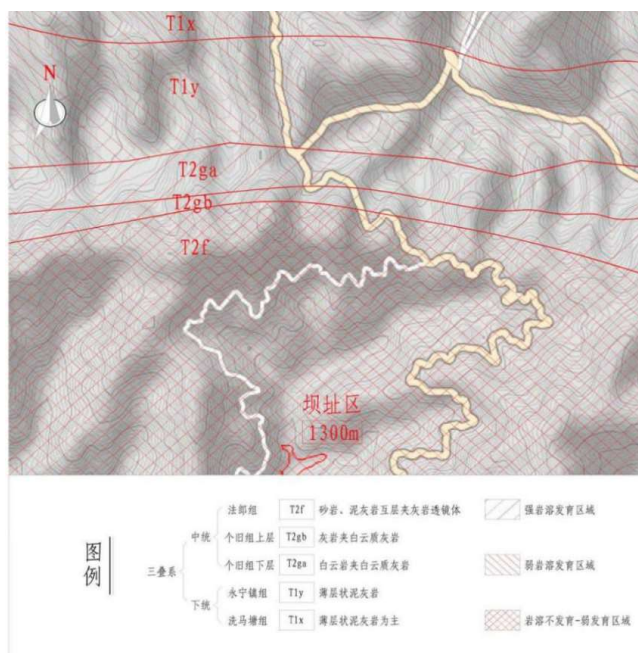


图1 工程区岩溶发育程度分区图

库区及临谷主要出露三叠系下统洗马塘组、永宁组 (T_{1x} 、 T_{1y}) 泥灰岩地层，中统个旧组 (T_{2ga} 、 T_{2gb}) 灰岩、白云岩夹白云质灰岩、灰质白云岩地层及法郎组 (T_{2f}) 砂岩、泥灰岩互层夹灰岩透镜体地层。砂岩属岩溶不发育地层，可视为相对隔水层，泥灰岩为弱岩溶地层，灰岩、白云岩、白云质灰岩及灰质白云岩为强岩溶地层。根据地层及岩性分布情况，三叠系中统个旧组 (T_{2ga} 、 T_{2gb}) 为强岩溶发育地层，三叠系下统洗马塘组、永宁组 (T_{1x} 、 T_{1y}) 为弱岩溶发育地层，三叠系中统法郎组 (T_{2f}) 为岩溶不发育~弱发育地层。库区及临谷岩溶发育程度分区见图1。

结合地形地质条件和岩溶发育特征，对该水库临谷渗漏可能性分析评价如下：

①北侧临谷：谷底分布高程1400m左右，峰谷交错发育。下伏基岩地层为 T_{1x} 、 T_{1y} 、 T_{2ga} 、 T_{2gb} ，属弱岩溶发育~强岩溶发育地层。分水岭高程1650~1700m，山体雄厚，下伏基岩地层为 T_{2f} ，属岩溶不发育~弱岩溶发育地层。受库区砂岩隔水层阻隔，库水不存在向北侧临谷渗漏可能性。

②东侧临谷：谷底高程1200m左右，谷底整体北西走向。东侧临谷与库区同在三叠系中统法郎组地层，属岩溶不发育~弱岩溶发育地层。分水岭高程1600~1700m，山体雄厚，呈北西走向，下伏基岩地层为 T_{2f} ，属岩溶不发育~弱岩溶发育地层。据调查，库区左岸分布薄层灰岩地层，该层内发育有季节性泉点Q1，分布高程1304m附近，顺层面延伸，在东侧临谷侧未见该层灰岩出露，灰岩层呈透镜状尖灭可能性大，库区与

东侧临谷形成连通性岩溶通道可能性小。勘察期间坝区左岸钻孔地下水位均高于河床水库，地下水位随地形正常上扬抬升，按抬升趋势推测地下水分水岭与地形分水岭位置基本一致且高于水库正常蓄水位。

③西侧临谷：谷底高程1270m左右，近似正南走向。西侧临谷与库区同在三叠系中统法郎组地层，属岩溶不发育~弱岩溶发育地层。分水岭高程1500~1550m，山体雄厚，呈北西走向，下伏基岩地层为三叠系中统法郎组地层，属岩溶不发育~弱岩溶发育地层。库区及临谷未发现泉点出露，库区右岸分布薄层灰岩地层在西侧临谷亦未出露，呈透镜状尖灭可能性大，库区与西侧临谷形成连通性岩溶通道可能性小。勘察期间坝区右岸钻孔地下水位均高于河床水库，地下水位随地形正常上扬抬升，按抬升趋势推测地下水分水岭与地形分水岭位置基本一致且高于水库正常蓄水位。

综上所述，库区四周山体雄厚，分水岭高耸，地形封闭条件较好；相邻河间地块可溶岩层主要成薄层状横切河谷分布，其间有多层砂岩隔水层分割，形成连通性岩溶渗漏通道可能性较小；库区两岸地下水位正常上扬，地下水分水岭封闭条件好，水库基本不存在向临谷渗漏可能性。

（二）坝基及绕坝渗漏

近坝区可溶岩层主要呈薄层状横切河谷分布，其间有多层砂岩隔水层分割阻断，且无深大断裂带及裂隙连接水库及下游河水，水库发生严重坝基及绕坝渗漏可能性小。

库区冲沟两岸地形较陡，卸荷裂隙较发育，浅表层基岩多属中等透水层；下层基岩较完整，属弱透水~微透水层。水库径流区内地下水分水岭与地表水分水岭一致，地表水和地下水均向河谷排泄，补给河水。大坝做好防渗后，向下游沟谷渗漏的可能性小。

综上所述，水库区向邻谷和向下游沟谷渗漏可能性较小。

三、坝址区工程地质评价

结合其他专业意见，本工程初步选定了2个坝址进行比选，上下坝址相距约140m。根据现场勘察，从坝址区边坡稳定分析、建基面选择、坝基稳定分析及坝基及绕坝渗漏分析4个方面进行了坝址区工程地质条件评价。

（一）上坝址工程地质评价

（1）边坡稳定

坝址两岸山体雄厚，山顶高程在1400m以上。左岸岸坡坡度约47°，覆盖层厚度在5.5m，覆盖层内未见连续软弱土体。右岸地形坡度约38°，覆盖层厚2.2~5.0m。地表未见拉裂缝等变形迹象，根据现场调查，上坝址附近无崩塌、滑坡等不良地质现象。坝址区及附近边坡整体稳定性较好。上坝址岩层产状整体表现为倾下游，微倾左岸，河谷为横向谷，自然边坡整体稳定性较好。

（2）建基面选择

坝址两岸覆盖层为含砾石土，厚度一般为2.5~5.5m；沟床处为冲洪积物，厚3.5~5.0m。覆盖层

承载力较低，不可作为大坝基础，建议清除。弱风化泥灰岩承载力0.8MPa，变形模量1.5~2GPa，承载力和变形均满足要求，可作为大坝地基。弱风化砂岩承载力2~3MPa，变形模量4~5GPa，承载力和变形均满足要求，可作为大坝地基。综上，建议清除表部覆盖层和强风化岩体，将坝基至于弱风化岩体之上。

（3）坝基稳定

坝址处沟床平缓，沟床纵坡比较小，且坝基岩性主要为弱风化石泥灰岩、砂岩，岩层产状N59~75° E/SE∠69~86°，陡倾下游，无规模较大的缓倾角结构面；岩层产状和规模较大的结构面走向与水流流向大角度相交。节理裂隙虽然较发育，但多数短小，以中陡倾角为主，缓倾下游的长大节理不发育，钻孔未揭露缓倾下游的全风化夹层及泥化带等软弱结构面，坝基抗滑稳定性一般；坝基上部岩体较破碎~破碎，局部极破碎，无大的断层破碎带，弱风化岩体质量为C_{IV}或B_{III2}，其强度、变形指标及抗滑稳定满足筑坝要求。

（4）坝基渗漏和绕坝渗漏

上坝址两岸坝基处为弱风化石泥灰岩、砂岩，节理较发育，岩体较破碎，岩体渗透性好，且地下水位埋深大。左岸地下水位埋深28.7m，高程1304.97m；沟底处地下水埋深0.1~0.6m，高程1300.53~1302.67m，基本与河水位持平；右岸地下水埋深11.5~23.5m，高程1306.70~1309.15m。左岸岩体相对隔水层（q≤5Lu）埋深24.0m，高程11309.67m；河床相对隔水层（q≤5Lu）埋深6.0~8.0m，高程1294.32~1296.77m；右岸相对隔水层（q≤5Lu）埋深20.5~25.5m，高程1300.15~1304.70m。两岸地下水位及相对隔水层埋藏较深，远低于水库正常蓄水位，大坝存在坝基渗漏和绕坝渗漏问题，需采取防渗措施。建议防渗帷幕深度应进入相对隔水层（q≤5Lu）或地下水位以下5~10m。

（二）下坝址工程地质评价

（1）边坡稳定

坝址两岸山体雄厚，山顶高程在1400m以上。左岸岸坡坡度约47°，覆盖层厚度在11.4m，覆盖层内未见连续软弱土体。右岸地形坡度约38°，覆盖层厚24.0m，地表未见拉裂缝等变形迹象。根据现场调查，下坝址左岸公路附近有覆盖层垮塌，体量约1.2万方，目前处于欠稳定状态。下坝址岩层产状整体表现为倾下游，河谷为横向谷，自然边坡整体稳定性较好。

（2）建基面选择

坝址两岸覆盖层为含砾石土，厚度一般为11.4~24.0m；沟床处为冲洪积物，厚2.3~5.0m。覆盖层承载力较低，不可作为大坝基础，建议清除。弱风化石泥灰岩承载力0.8MPa，变形模量1.5~2GPa，承载力和变形均满足要求，可作为大坝地基。弱风化石砂岩承载力2~3MPa，变形模量4~5GPa，承载力和变形均满足要求，可作为大坝地基。综上，建议清除表部覆盖层和强风化岩体，将坝基至于弱风化岩体之上。

（3）坝基稳定

坝址处沟床平缓，沟床纵坡比较小，且坝基岩性主要为弱风化石泥灰岩、砂岩，岩层产状N50~60° E/

表1 上下坝址工程地质条件比选一览表

比选内容	上坝址	下坝址	比选结果
地形地貌	上坝址河段呈基本对称的“V”型谷，河床高程1300~1303m，河床宽2~4m，河床下切1~2m，建坝河段河流流向S34°W。河床两岸为冲洪积阶地，阶地分布高程1303~1305m，横向宽度47m。左岸岸坡坡度约47°，右岸38°。水库1319m正常蓄水位时河谷宽约66m。	基本对称的“V”型横向谷，河床高程1293~1295m，河床宽1~3m，河流下切1~2m，建坝河段河流流向近似正南向。河谷宽约13~20m，阶地不发育。左岸岸坡地形坡度42°，局部有陡坎发育，右岸36°。水库1319m正常蓄水位时河谷宽约66m。	基本相当
地层岩性	两岸覆盖层广泛分布，厚2.5~5.0m，河床处覆盖层厚约3.5~5.0m。下伏基岩为法郎组砂岩、泥灰岩。	两岸覆盖层广泛分布，左岸厚11.4m，右岸厚24.0m，河床处覆盖层厚约2.3~5.0m。下伏基岩为法郎组砂岩、泥灰岩。	上坝址较优
地质构造	右岸发育断层F1	无断层发育	下坝址较优
岩体风化、卸荷	左岸岩体强风化下限埋深12.4m，弱风化下限埋深24.8m；沟底强岩体强风化下限埋深5.8~7.8m，弱风化下限埋深17.5~18.5m；右岸岩体强风化下限埋深5.7~12.0m，弱风化下限埋深18.5~25.5m。上坝址区左岸岩体强卸荷下限埋深16.1m；沟底为无卸荷岩体；右岸岩体强卸荷下限埋深9.3~14.5m。	左岸岩体强风化下限埋深15.4m，弱风化下限埋深31.6m；沟底强岩体强风化下限埋深4.3~9.0m，弱风化下限埋深15.0~19.0m；右岸岩体强风化下限埋深26.4m，弱风化下限埋深37.0m。左岸岩体强卸荷层下限埋深18.7m；沟底为无卸荷岩体；右岸岩体强卸荷下限埋深29.0m。	基本相当
水文地质	左岸地下水位埋深28.7m，相对隔水层（ $q \leq 5Lu$ ）埋深24.0m；沟底处地下水埋深0.1~0.6m，相对隔水层（ $q \leq 5Lu$ ）埋深6.0~8.0m；右岸地下水埋深11.5~23.5m，对隔水层（ $q \leq 5Lu$ ）埋深20.5~25.5m。	左岸地下水位埋深大于38.0m，相对隔水层（ $q \leq 5Lu$ ）埋深33.6m；沟底处地下水埋深0.9~2.0m，对隔水层（ $q \leq 5Lu$ ）埋深12.0~16.0m；右岸地下水埋深27.4m，相对隔水层（ $q \leq 5Lu$ ）埋深33.0m。	上坝址较优
坝址处边坡稳定	边坡整体稳定	右岸4#支沟附近存在覆盖层垮塌，蓄水后有小规模库岸再造。左岸公路附近存在一滑动土质边坡，滑移体放量约1.2万方，处欠稳定状态。	上坝址较优
坝基稳定	坝基稳定，抗滑稳定问题不突出。	坝基稳定，抗滑稳定问题不突出。	基本相当

SW \angle 60~69°，陡倾下游，无规模较大的缓倾角结构面；岩层产状与水流流向大角度相交。节理裂隙虽然较发育，但多数短小，以中陡倾角为主，缓倾下游的长大节理不发育，钻孔未揭露缓倾下游的全风化夹层及泥化带等软弱结构面，坝基抗滑稳定性一般；坝基上部岩体较破碎~破碎，局部极破碎，无大的断层破碎带，弱风化岩体质量为 C_{IV} 或 B_{III2} ，其强度、变形指标及抗滑稳定满足筑坝要求。

(4) 坝基渗漏和绕坝渗漏

上坝址两岸坝基处为弱风化泥灰岩、砂岩，节理较发育，岩体较破碎，岩体渗透性好，且地下水位埋深大。下坝址左岸地下水位埋深大于38.0m，高程大于1297.91m；沟底处地下水埋深0.9~2.0m，高程1293.35~1296.42m，基本与河水位持平；右岸地下水埋深27.4m，高程1297.79m。下坝址左岸相对隔水层（ $q \leq 5Lu$ ）埋深33.6m，高程1302.31m；河床相对隔水层（ $q \leq 5Lu$ ）埋深12.0~16.0m，高程1279.85~1285.32m；右岸相对隔水层（ $q \leq 5Lu$ ）埋深33.0m，高程1292.19m。两岸地下水位及相对隔水层埋藏较深，远低于于水库正常蓄水位，大坝存在坝基渗漏和绕坝渗漏问题，需采取防渗措施。建议防渗帷幕深度应进入相对隔水层（ $q \leq 5Lu$ ）或地下水位以下5~10m。

(三) 坝址比较与选择

结合坝址区工程地质评价，从地形地貌、地层岩性、地质构造、岩体风化及卸荷、水文地质、边坡稳定、坝基稳定等方面进行了上下坝址地质比选，比选结果见表1。

通过上表可知，上坝址区地形地质条件、水文地质条件相对较优，适宜修建重力坝、堆石坝等坝型；下坝址两岸覆盖层相对较厚，地下水位埋深较大等不利因素，地形地质条件相对较差，适宜建坝类型有限。

四、结语

水库渗漏是影响水库成库条件的重要因素，地形地貌、地层岩性、地质构造、物理地质现象、水文地质条件、坝址区边坡稳定、坝基稳定是影响坝址选择的重要地质因素。岩溶区水库渗漏工程地质勘察，首先应根据区域地质资料及野外工程地质测绘及相关勘察资料，确定岩溶发育程度，结合地形地质条件，进而进行水库渗漏分析评价，包括临谷渗漏评价、坝基及绕坝渗漏评价。坝址选择工程地质勘察，应从坝址区地形地貌、地层岩性、地质构造、物理地质现象、水文地质条件、边坡稳定、坝基稳定等方面综合进行地质比选，确定地质较优方案。

本文通过工程实例，进行水库渗漏评价及坝址比选，从地质角度对成库条件及坝址选择进行了充分论证，为工程设计提供了可靠地质依据，说明了岩溶地区水库渗漏及坝址选择工程地质勘察分析要点，对类似工程建设具有很强的指导意义。

参考文献

- [1]朱纳显,李同草. 闸木水库区岩溶渗漏问题研究及坝址选择[J]. 水电与新能源, 2006,(04):17-19.
- [2]田茂,常成,陈鑫. 罗星溪水库坝址比选分析[J]. 陕西水利, 2020(8):157-159.
- [3]陈启军,陈海新,张浩然,等. 高卡水库坝址岩溶渗漏分析[J]. 人民珠江, 2014, 35(6):95-98.
- [4]赵敏. 复杂岩溶水库成库条件及岩溶渗漏分析[D]. 成都理工大学, 2017.

作者简介:

申国磊(出生1989年04月-),男,汉族,籍贯:山东省聊城市,学历:研究生,职称级别:工程师,从事工作:水利工程勘测,研究方向:水利工程勘测。

宋永东(出生1990年10月-),男,汉族,籍贯:山东省枣庄市,学历:研究生,职称级别:工程师,从事工作:水利工程勘测.研究方向:水利工程勘测。